

基于图像处理的带钢表面缺陷检测改进算法的研究

孙光民, 刘 鹏, 李子博

(北京工业大学信息学部, 北京 100124)

摘 要: 由于在带钢的生产过程中会出现多种表面缺陷, 因此本文中研究了一种基于图像处理的带钢表面缺陷检测改进算法对表面缺陷进行有效检测。算法中对边缘检测、图像分块、连通域分析等过程进行了改进, 并提出了一种针对带钢图像的图像二值化算法, 相较于传统的缺陷检测算法, 本文中的检测算法在保证处理速度的同时, 可以使处理的图像细节更完整清晰, 缺陷定位更准确, 且总体的检测正确率在90%以上, 为后续缺陷分类提供更加准确的数据支持, 可有效解决带钢表面缺陷检测问题, 对企业生产过程中的技术改善起到至关重要的作用。

关键词: 带钢; 缺陷检测; 图像处理

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Research on the Detection Algorithm of Strip Steel Surface Defects Based on Image Processing

SUN Guangmin, LIU Peng, LI Zibo

(Faculty of Information Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Since there are many kinds of surface defects in the process of strip production, an improved algorithm based on image processing is proposed to detect the surface defects effectively. In the algorithm, the process of edge detection, image patching, and connected domain analysis are improved, and a binaryzation for images of strip steel is proposed. Compared with the traditional defect detection algorithm, this algorithm, in which the processing speed is guaranteed, can at the same time make the images clearer, the defects more detailed, the positioning more accurate, with over 90% of correct detection rate, which can provide more accurate data support for the subsequent classification of defects and effectively solve the problem of surface defect detection of steel strip, thus playing an important role in the technology improvement in the process of manufacturing.

Keywords: strip steel; defect detection; image processing

1 引言(Introduction)

带钢作为钢铁产业重要产品之一, 它具有抗腐蚀性、高韧性, 以及便于机加工等优点, 被广泛应用在车船、机械、建筑、桥梁等行业^[1]。然而在带钢的生产过程中, 综合各种原因, 会经常导致如辊痕、划痕、夹渣等表面缺陷, 这些缺陷会给钢厂带来经济和品牌损失^[2]。

传统带钢表面缺陷检测需要利用工人在生产线上人工视觉检测, 这会耗费很大的人力财力, 同时对工人的身体也十分具有损伤性^[3]。目前大部分工厂会在生产线上架设面阵相机, 对拍摄出来的带钢图片进行缺陷检测^[4]。本文中的带钢图片由红外线阵相机拍摄, 红外线阵相机拍摄出来的图片较面阵相机拍摄效果整体更加清晰, 但图片在处理方面比较困难, 像素的行与行之间空间连续性不足, 这就需要图像处理算法进行优化和改进, 从而达到对带钢表面缺陷的检测

及定位, 对后续带钢表面缺陷的分类提供更准确的图像信息, 从而最终对企业生产过程中的技术改善起到至关重要的作用^[5,6]。

本文所提出的带钢表面缺陷检测算法主要包括对由红外线阵相机拍摄的带钢图片进行边缘检测、图片分块、二值化、图像拼接、连通域分析等一系列图像处理过程, 其中算法中对边缘检测、图像分块、连通域分析等过程进行了改进, 并提出了一种针对带钢图像的图像二值化算法, 相较于传统的缺陷检测算法, 本文中的检测算法在保证处理速度的同时, 可以使处理的图像细节更完整清晰, 缺陷定位更准确, 且总体的检测正确率在90%以上, 为后续缺陷分类提供更加准确的数据支持。

综上所述, 本文中所研究的基于图像处理的带钢表面缺陷检测算法可有效解决带钢表面缺陷检测问题, 对企业生产

过程中的技术改善起到至关重要的作用。

2 边缘检测及图像分块(The process of edge detection and image patch)

由于线阵相机架设在生产线上的不稳定性及拍摄角度等因素，拍摄出来的图片会有不同程度的偏移，所以需要带钢原图进行边缘检测^[7]。

在正常拍摄的情况下，图片两侧较暗中间部分较亮，如图1所示，截取图片中心四分之三部分即可，截取后的图片像素为2048*3000；当带钢图片只拍摄到带钢的左边沿或右边沿时，如图2所示，就需将带钢边沿外的图像部分截除，只保留显示带钢的部分，计算图片每列的列平均灰度，由于带钢边沿内外区域的灰度值差距很大，所以当计算出所有列平均灰度后，若相邻两列的平均灰度值差值很大，则将相较列平均灰度值大的部分截除，留取列平均灰度值较小部分。这种边缘检测算法相比较于其他传统的基于取中位数方法的边缘检测算法，由于有可能在带钢边缘出现如缺口、结疤等缺陷的特殊性使得边缘出现偏移，在二维图像中影响边缘的整齐度，所以一般的边缘检测算法虽然能检测到边缘问题，但是难以具体定位。

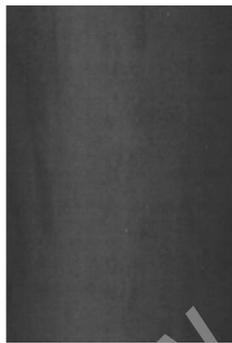


图1 正常拍摄的带钢图片

Fig.1 Normal strip pictures



图2 拍摄到边沿的带钢图片

Fig.2 A picture of the strip steel with edges included

经过边缘检测及截图后的图片，会分块为像素300*300的若干块局部块的集合^[8]，分块规则为：分块后的右侧局部块左四分之一部分图像与其前一块局部块的右四分之一部分图像重叠，如图3所示；上下分块规则的位置关系同理，如图4所示。图中重叠的四分之一部分图像被颜色填充。

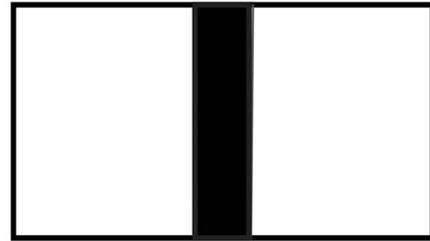


图3 图片左右分块规则图解

Fig.3 Image partition rule diagram



图4 图片上下分块规则图解

Fig.4 Image partition rule diagram

通过图像的分块后，会分块出若干像素为300*300的局部块图像以备进行进一步的图像处理。

3 二值化处理(Binaryzation)

由于带钢图片局部区域的灰度值十分接近，传统的二值化算法虽然处理速度快^[9,10]，但处理局部块图像会出现细节丢失严重、散度高等问题，效果如图5所示，可见经过传统二值化算法处理的带钢图片无法满足需求。

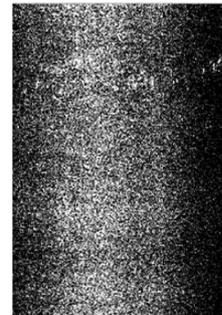


图5 传统二值化效果图

Fig.5 Impression drawing of traditional binaryzation

基于此，本文中提出了一种二值化处理算法，使经过二值化处理的图像在保证相似处理速度的同时，做到无损且细节更好^[11]。

首先将局部块图像平分为左右两部分，分别求出左右两部分图像的灰度值均值，设为 \overline{PX}_L 和 \overline{PX}_R ；然后求出局部块图像灰度值的整体方差 VAR ；基于此，左半部分各像素点的二值化算法的公式为

$$\frac{(PX_L - \overline{PX}_L)^2}{VAR} = A \tag{1}$$

同理，右半部分各像素点的二值化算法的公式为

$$\frac{(PX_R - \overline{PX_R})^2}{VAR} = B \quad (2)$$

式中, PX_L 代表左半部分单个像素点的灰度值, PX_R 代表右半部分单个像素点的灰度值。根据此公式处理局部块所有像素点。若 $A \leq 3$, 则记此左半部像素点二值化的结果为0, 否则为1; 同理, 若 $B \leq 3$, 则记此右半部像素点二值化的结果为0, 否则为1; 当像素为 300×300 的局部块全部计算完成后, 便得到了二值化处理后的二值图像。这样处理后的二值图像效果更佳, 具有细节特征明显并且处理速度快等特点, 但图像中会出现少量噪声, 噪声会在后续图像处理中进行去噪处理。

二值化处理后的局部块图片将会按照切割时的顺序拼接为边缘检测裁剪后像素大小的二值图像, 各局部块间重叠部分的像素点根据或运算的规则进行计算^[12], 最终拼接为原大小的图像。

经过本文所提出的二值化处理算法的图片效果如图6所示, 从效果图中可明显看到相较于传统二值化处理算法处理后的图片更加清晰且细节体现的更加明显, 这些效果上的提高满足本文中的需求, 对后续处理的准确性提供保障。



图6 本文所提出二值化效果图

Fig.6 The binaryzation impression drawing proposed in this paper

4 图像去噪(Image denoising)

图像噪声是指存在于图像数据中的不必要的或多余的干扰信息, 噪声的存在严重影响了遥感图像的质量, 因此在图像增强处理和分类处理之前, 必须予以纠正^[13]。

本文中产生的噪声为椒盐噪声, 即在图像上随机出现的黑色白色的孤立的噪声点, 通过对二值图像进行中值滤波处理, 从而消除二值图像中产生的噪声。中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术。中值滤波器的基本原理是把数字图像或数字序列中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替, 让周围像素灰度值的差比较大的像素改取与周围的像素值接近的值, 从而可以消除孤立的噪声点^[14]。

在这里, 选择把当前中心像素点作为噪声点处理, 在

窗口中心点的领域内除去可能噪声点后取剩下的信号点, 并用它们排序后取中值点的灰度值代替当前中心点灰度值。这样以椒盐噪声的两个特征为判断依据, 通过设定两个阈值区分当前点是噪声点还是信号点, 用信号点的中值来替代噪声, 该方法可以准确地去除噪声点, 并能保护图像更多的细节信息。

图片去噪前后的效果如图7所示, 图7(a)为图像去噪前的图片, 可看到在图片中存在大量噪声, 这些噪声的存在会十分影响图像在下一步连通域分析的准确性和复杂度, 经过中值滤波后, 去除了大量冗余噪声, 效果如图7(b)所示, 可以清楚地看到去噪后的效果明显, 成功去噪可提高对下一步图像连通域分析的准确度。

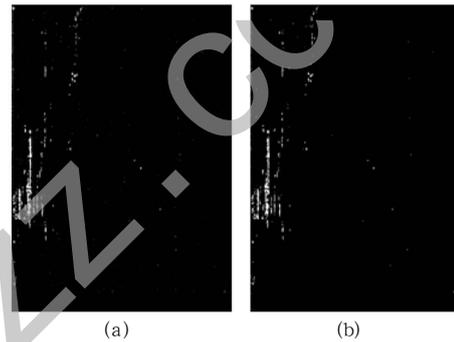


图7 图像去噪后效果图

Fig.7 Impression drawing of denoised picture

5 连通域分析(Connected domain analysis)

连通域一般是指图像中具有相同像素值且位置相邻的前景像素点组成的图像区域。连通区域分析是指将图像中的各个连通区域找出并标记。在二值图像中, 背景区像素的值为0, 目标区域的像素值为1。假设对一幅图像从左向右, 从上向下进行扫描, 要标记当前正被扫描的像素需要检查它与在它之前被扫描到的若干个近邻像素的连通性^[15]。

本实验中采用的分析方法为4邻域方式, 4邻域即如果 p 在 q 的4邻域内, 且 q 和 p 的值都在 V 中, 那么 p 和 q 是4邻接的。考虑4邻接的情形, 对图像进行逐像素扫描, 假如当前像素值为0, 就移动到下一个扫描的位置; 假如当前像素值为1, 检查它左边和上边的两个邻接像素(这两个像素一定会在当前像素之前被扫描到)^[16]。这两个像素值和标记的组合有四种情况要考虑: 他们的像素值都为0, 此时给该像素一个新的标记(表示一个新的连通域的开始); 它们中间只有一个像素值为1, 此时当前像素的标记等于为1的像素值的标记; 它们的像素值都为1且标记相同, 此时当前像素的标记等于该标记; 它们的像素值为1且标记不同, 将其中的较小的值赋给当前像素, 之后从另一边回溯到区域的开始像素为止, 每次回溯再分别执行上述四个判断步骤。根据本文章中图片的大小, 对连通域分析

的参数进行了优化和改进,将左右邻接像素的像素间隔设置为20,上下邻接像素的像素间隔设置为80。

连通域分析后,将二值化图片转换为灰度图,结果如图8所示。



图8 连通域分析后的灰度图

Fig.8 Grey-Scale map after connected domain analysis

6 结论(Conclusion)

本文中用于实验的样本共909张带钢原图,将所有图片进行编号并依次使用本文中的方法进行处理。经过统计,在909张图片样本中,共检测出有缺陷图片827张,无缺陷图片82张。其中在检测出有缺陷图片中,有87张误检出表面缺陷,总体正确率接近90%,这其中主要原因有带钢原图拍摄时灯光过亮,导致图像处理过程中误将光照检测为表面缺陷;另一原因是带钢成品自身带有一些非缺陷的纹理,这些纹理的特征在二维图片中略相似于划痕等缺陷,实验过程中可能会将其误检。在检测出的无缺陷图片中,有6个图片样本漏检,正确率达92.8%,这里的主要原因分析为光照原因。

表1 实验数据统计

Tab.1 Experimental data analysis

内容	数量	正确率	误检/漏检率
有缺陷图片	827	89.4%	10.6%
无缺陷图片	82	92.8%	7.2%

综上所述,本文中所提出的带钢表面缺陷检测算法,结合了边缘检测、图片分块、二值化处理、图像拼接、图像去噪、连通域分析等过程,对由线阵红外相机拍摄的带钢原图进行处理和分析。根据实验结果得知,此方法在对于带钢图片样本完整处理和分析效果明显,且在各个图像处理过程中错误率低,为后续的缺陷分类等处理提供了十分可靠的数据,但在后续研究中依然需要对算法不断改进,以提高正确率,降低误检或漏检概率。所以,可以基本认为本文中的处理方法在实际应用具有很高的可行性,能够良好的解决带钢图像表面缺陷检测的问题,提高效率和准确性。

参考文献(References)

[1] 李长乐.冷轧带钢表面缺陷图像检测关键技术的研究[D].哈

尔滨工业大学,2009.

[2] 彭兴东,胡林,胡小东,等.冷轧带钢表面缺陷诊断[J].辽宁科技大学学报,2010(01):24-28.

[3] 徐科,杨朝霖,周鹏.热轧带钢表面缺陷在线检测的方法与工业应用[J].机械工程学报,2009(04):111-114;124.

[4] 瞿雪元,顾廷权,方百友.带钢表面粗糙度在线检测技术最新进展[J].电子测量与仪器学报,2017(04):493-500.

[5] 孙凯.基于机器学习的带钢表面缺陷分类[D].华中科技大学,2016.

[6] 罗旗舞.热轧带钢表面缺陷在线检测方法和实时实现技术研究[D].湖南大学,2016.

[7] Kemeny Steven Frank,Clyne Alisa Morss.A simplified implementation of edge detection in MATLAB is faster and more sensitive than fast fourier transform for actin fiber alignment quantification[J].Microscopy and Microanalysis,2011,17(2):156-166.

[8] 陆小锋,张俊豪,陆晓成,等.基于FPGA的图像分块实时边缘检测系统[J].电视技术,2012(21):51-54.

[9] 李了了,邓善熙,丁兴号.基于大津法的图像分块二值化算法[J].微计算机信息,2005(14):76-77.

[10] 孙少林,马志强,汤伟.灰度图像二值化算法研究[J].价值工程,2010(05):142-143.

[11] 赵永志,彭国华.一种有效的图像二值化方法[J].科学与工程,2007(01):139-141;144.

[12] 陶小平,冯华君,雷华,等.一种空间变化PSF图像分块复原的拼接方法[J].光学学报,2009(03):648-653.

[13] 刘国宏,郭文明.改进的中值滤波去噪算法应用分析[J].计算机工程与应用,2010(10):187-189.

[14] Monagi H.Alkinani,Mahmoud R.El-Sakka.Patch-based models and algorithms for image denoising:a comparative review between patch-based images denoising methods for additive noise reduction[J].EURASIP Journal on Image and Video Processing,2017(1):1-27.

[15] 王惠华,游福成,段怀锋,等.基于二值图像连通域提取的图像滤波方法[J].北京印刷学院学报,2015(06):39-41.

[16] 孔斌.快速连通域分析算法及其实现[J].模式识别与人工智能,2003(01):110-115.

作者简介:

孙光民(1960-),男,博士,教授.研究领域:神经网络与图像识别.

刘 鹏(1992-),男,硕士生.研究领域:图像处理.

李子博(1989-),男,博士生.研究领域:图像处理.